



## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung eines Piezoventils, das ein Ventilgehäuse aufweist, in dem sich ein Piezo-Biegeelement erstreckt, das mit einem Halteabschnitt am einen Endbereich gehäusefest festgelegt ist und dessen anderer Endbereich als beweglicher Steuerabschnitt ausgeführt ist, der mindestens einem Ventilsitz gegenüberliegt, gegen den er mechanisch mit einer Schließkraft vorgespannt ist.

Um bei Piezoventilen bereits im spannungslosen Zustand eine bestimmte Schaltstellung vorzugeben, also das Piezoventil beispielsweise als Normally-Closed-Ventil auszuführen, besteht beispielsweise die Möglichkeit, entweder das Piezo-Biegeelement vergleichbar dem Inhalt der EP 0 538 236 B1 ständig durch Federelemente zu beaufschlagen, oder das Piezo-Biegeelement an seinem Halteabschnitt in einer Weise fest einzuspannen, daß sein Steuerabschnitt mit Vorspannung an einem zugeordneten Ventilsitz anliegt. Letzteres geht beispielsweise aus der WO 97/09555 hervor, wobei das Biegeelement bei noch nicht endgültig befestigtem Halteabschnitt mit einer vorgegebenen Beaufschlagungskraft beaufschlagt und in Kontakt mit einem Ventilsitz gehalten wird, bis der Halteabschnitt durch eine nachträglich eingebrachte Vergußmasse in der aus der Beaufschlagung resultierenden Position gehäusefest festgelegt ist. Dabei ergibt sich jedoch das Problem, daß infolge einer versehentlich zu starken Beaufschlagung des Biegeelementes Beschädigungen am Biegeelement oder an dem durch dieses unmittelbar beaufschlagten Ventilsitz auftreten können.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art vorzuschlagen, mit dem sich ein Piezoventil ohne Beschädigungsgefahr und unter Realisierung exakter Vorspannungswerte herstellen läßt.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist bei einem Verfahren der eingangs genannten Art vorgesehen, daß man das Biegeelement nach dem Plazieren im Ventilgehäuse bei noch beweglichem Halteabschnitt derart mit einer Beaufschlagungseinrichtung beaufschlagt, daß der Steuerabschnitt in Richtung zum Ventilsitz und unter Einhaltung eines Abstandes zum Ventilsitz gegen eine im Bereich des Ventilsitzes angeordnete Kraftsensoreinrichtung gedrückt wird, wobei man die über die Beaufschlagungseinrichtung eingeleitete Beaufschlagungskraft so einstellt, daß die von der Kraftsensoreinrichtung ermittelte Vorspannkraft bei fertiggestelltem Ventil der gewünschten Schließkraft entspricht, wonach man das Biegeelement in diesem Beaufschlagungszustand hält, bis es an seinem Halteabschnitt gehäusefest festgelegt ist.

Ferner wird die Aufgabe bei einer Vorrichtung der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß eine Beaufschlagungseinrichtung zur Beaufschlagung des mit noch beweglichem Halteabschnitt im Gehäuse platzierten Biegeelementes mit einer Beaufschlagungskraft im Sinne einer Verlagerung des Steuerabschnittes in Richtung zu einem Ventilsitz vorgesehen ist, daß eine Kraftsensoreinrichtung vorgesehen ist, die eine Kraftaufnahmefläche aufweist, die derart im Ventilgehäuse im Bereich des Ventilsitzes platzierbar ist, daß das durch die Beaufschlagungseinrichtung beaufschlagte Biegeelement unter Wahrung eines Abstandes zum Ventilsitz gegen die Kraftaufnahmefläche gedrückt wird, und daß eine Steuereinrichtung vorgesehen ist, in der die gewünschte Schließkraft als Sollwert vorgebar ist und die der Beaufschlagungseinrichtung, anhand eines Vergleiches zwischen dem Soll-Wert und der von der Kraftsensoreinrichtung ermittelten Vorspannkraft als Ist-Wert, die auszuübende Beaufschlagungskraft vorgibt.

Auf diese Weise läßt sich die durch mechanische Vorspannung gewünschte Schließkraft des Biegeelementes des Piezoventils sehr exakt innerhalb enger Toleranzen und ohne Beschädigungsgefahr für den Ventilsitz und das Biegeelement vorgeben. Die Beaufschlagungseinrichtung ist steuerungstechnisch mit der Kraftsensoreinrichtung gekoppelt, über die die in Abhängigkeit von der momentan aufgetragenen Beaufschlagungskraft herrschende Vorspannkraft ermittelt wird, wobei durch Abgleich zwischen der aktuell ermittelten Vorspannkraft und der bei fertiggestelltem Ventil gewünschten Schließkraft eine bedarfsgemäße Vorgabe der Beaufschlagungskraft stattfindet. Je nachdem, an welcher Stelle die Kraftsensoreinrichtung mit dem Biegeelement zusammenwirkt, kann dabei der während der Einstellphase vorhandene Abstand zwischen dem Ventilsitz und dem Biegeelement sowie ein eventuell vorhandener Seitenversatz zwischen der Angriffsstelle der Kraftsensoreinrichtung und der beim späteren Betrieb mit dem Ventilsitz zusammenarbeitenden Schließpartie des Biegeelementes bei Bedarf Rechnung getragen werden. Ohne Probleme läßt sich hier eine kraftgeregelte Einstellung erhalten, wobei toleranzbedingte Unterschiede im Verformungsverhalten der bei den herzustellenden Piezoventilen eingesetzten Biegeelemente Rechnung getragen werden kann. Da das Biegeelement bei der Einstellung der Vorspannkraft an einem Kontakt mit dem zugeordneten Ventilsitz gehindert ist, können zudem Beschädigungen durch Überbeanspruchung vermieden werden.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen hervor.

Bei einer besonders zweckmäßigen Ausgestaltung wird die Vorspannkraft des Biegeelementes in demjenigen Bereich des Biegeelementes ermittelt, der dem vom Ventilsitz umgrenzten Mündung unmittelbar gegenüberliegt. Auf diese Weise ist eine besonders exakte Erfassung der Vorspannkraft möglich, die praktisch in demjenigen Bereich gemessen wird, der im späteren Betrieb auch tatsächlich mit dem Ventilsitz kooperiert. Ferner kann bei ausreichend großem Durchmesser die Kraftsensoreinrichtung unmittelbar durch die vom Ventilsitz umgrenzte Mündung bzw. den zugeordneten Fluidkanal hindurch in die Steuerabschnitt enthaltende Ventilkammer eingeführt werden.

Insbesondere wenn sich die vom Ventilsitz umgrenzte Mündung nicht für die Einführung einer Kraftsensoreinrichtung eignet, empfiehlt sich eine Ermittlung der Vorspannkraft in demjenigen Bereich des Biegeelementes, der einem neben dem Ventilsitz liegenden Gehäusebereich gegenüberliegt. Zweckmäßigerweise wird der Abstand zum Ventilsitz dabei möglichst gering gehalten, um exakte Messungen zu ermöglichen. Die seitliche Lageabweichung bezüglich der im Betrieb tatsächlich mit dem Ventilsitz zusammenwirkenden Schließpartie des Steuerabschnittes kann bei Bedarf bei der Ermittlung der notwendigen Beaufschlagungskraft berücksichtigt werden. Man kann auch ohne weiteres ein relativ großes Loch im Ventilgehäuse vorsehen, durch das hindurch man die Kraftsensoreinrichtung zur Messung in die Ventilkammer einführt, wobei man das Loch nach dem Entfernen der Kraftsensoreinrichtung wieder dicht verschließt, beispielsweise durch Verkleben oder durch Verkugeln.

Besonders geeignet für die Ermittlung der Vorspannkraft ist ein schlanker, stiftförmiger Kraftaufnehmer der Kraftsensoreinrichtung.

Die durch die Kraftsensoreinrichtung ermittelte Vorspannkraft wird vorzugsweise als Ist-Wert einer Steuereinrichtung zugeführt, in der die gewünschte Schließkraft als Soll-Wert vorgegeben bzw. abgespeichert ist und die anhand eines Vergleiches zwischen dem Soll-Wert und dem Ist-Wert die benötigte Beaufschlagungskraft für die Beaufschla-

gungseinrichtung vorgibt. Das Ganze kann als Regelkreis ausgeführt werden.

Die Beaufschlagungskraft wird dem Biegeelement zweckmäßigerweise mit einem stiftartigen Beaufschlagungsglied der Beaufschlagungseinrichtung auferlegt.

Besonders vorteilhaft ist eine Ausgestaltung, bei der man die Beaufschlagungskraft in einem Bereich in das Biegeelement einleitet, der sich auf der dem Steuerabschnitt entgegengesetzten Seite einer Einspannstelle befindet, an der das Biegeelement vor der endgültigen Befestigung seines Halteabschnittes wippenähnlich verschwenkbar fixiert ist. Auf diese Weise wirkt das Biegeelement vergleichbar einem zweiarmligen Hebel, wobei die Beaufschlagungskraft zweckmäßigerweise in den Halteabschnitt des Biegeelementes eingeleitet wird. Dies hat unter anderem den Vorteil, daß der in der Regel mit größerer Länge als der Halteabschnitt ausgeführte Steuerabschnitt des Biegeelementes durch die Beaufschlagungseinrichtung keiner unmittelbaren Durchbiegung ausgesetzt wird, was Fehlmessungen vorbeugt.

Man kann das unmittelbar auf das Biegeelement einwirkende Beaufschlagungsglied der Beaufschlagungseinrichtung nach der endgültigen Befestigung des Halteabschnittes an Ort und Stelle belassen und als Befestigungselement zur gehäuseseitigen Befestigung des Halteabschnittes des Biegeelementes verwenden. Dabei spannt man den Halteabschnitt zweckmäßigerweise zwischen von entgegengesetzten Seiten her wirksamen Befestigungselementen ein. Zusätzlich kann der Halteabschnitt in eine Vergußmasse eingebettet werden, die man in fließfähigem oder pastösem Zustand in das Ventilgehäuse einbringt und die als Dichtungsmasse wirkt, welche den Halteabschnitt vor Feuchtigkeit oder sonstigen Verunreinigungen abschirmt. Allerdings wäre es auch möglich, den Halteabschnitt allein durch eine nach der Verarbeitung erstarrende Vergußmasse gehäusesfest zu fixieren und auf eine zusätzliche Einspannung zwischen Befestigungselementen zu verzichten.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand der beiliegenden Zeichnung näher erläutert. Diese zeigt in Fig. 1 bis 3 verschiedene Phasen bei der Herstellung eines Piezoventils unter Verwendung einer besonders geeigneten Vorrichtung, wobei die Fig. 3 das fertiggestellte Piezoventil zeigt. Die Darstellungen sind schematisch und jeweils im Schnitt, wobei die Schnittebene parallel zur Biegeebene des Piezo-Biegeelementes verläuft.

Zunächst sei anhand der Fig. 3 ein durch das erfindungsgemäße Verfahren unter Anwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung hergestelltes Piezoventil 1 hinsichtlich seines Aufbaues erläutert.

Das Piezoventil 1 verfügt über ein Ventilgehäuse 2, beispielsweise aus Kunststoffmaterial, das beim Ausführungsbeispiel über zwei in einem Fügebereich 3 aneinandergesetzte und unter Abdichtung fest miteinander verbundene Gehäuseteile 4, 4' verfügt. Beim Ausführungsbeispiel stellen die Gehäuseteile 4, 4' jeweils eine Gehäusenhälfte dar und sind im Fügebereich 3 miteinander verschweißt oder verklebt.

Im Innern des Ventilgehäuses 2 ist ein Gehäuseinnenraum 5 ausgebildet, der sich beim Ausführungsbeispiel aus zwei Teilräumen zusammensetzt, deren einer nachfolgend als Ventilkammer 6 und deren anderer nachfolgend als Befestigungskammer 7 bezeichnet seien. Der Gehäuseinnenraum 5 erstreckt sich im Fügebereich 3 und setzt sich insgesamt aus in die beiden Gehäuseteile 4, 4' eingelassenen Vertiefungen zusammen, die miteinander fluchten und sich zu dem Gehäuseinnenraum 5 ergänzen. Man könnte von einer Schalenbauweise der Gehäuseteile 4, 4' sprechen.

In dem Gehäuseinnenraum 5 erstreckt sich ein längliches

Piezo-Biegeelement 8, also ein aus geeignetem Piezowerkstoff aufgebauter länglicher, balkenähnlicher Biegewandler. Es ist mit seinem einen axialen Endbereich, der nachfolgend als Halteabschnitt 12 bezeichnet sei, in der Befestigungskammer 7 gehäusesfest unbeweglich festgelegt. Der entgegengesetzte Endabschnitt des Biegeelementes 8, der als Steuerabschnitt 13 bezeichnet sei, ragt ausgehend von der Befestigungskammer 7 in die Ventilkammer 6 hinein, in der er frei endet, so daß der Steuerabschnitt 13 gemäß Doppelpfeil 14 in der Ventilkammer 6 relativ zum Ventilgehäuse 2 verschwenkbar ist.

Am Ventilgehäuse 2 ist im Innern der Ventilkammer 6 im Schwenkweg des Steuerabschnittes 13 auf entgegengesetzten Seiten desselben jeweils ein Ventilsitz 15, 15' ausgebildet, der eine Mündung 16, 16' ringähnlich umgrenzt, die mit einem das Ventilgehäuse 2 durchsetzenden Fluidkanal 17, 17' in Verbindung steht. Durch Verschwenken läßt sich der Steuerabschnitt 13 wahlweise in Anlage mit einem der beiden Ventilsitze 15, 15' positionieren, um die zugeordnete Mündung 16, 16' fluiddicht zu verschließen. Im Kontaktbereich mit einem jeweiligen Ventilsitz 15, 15', den man als Schließpartie bezeichnen kann, kann der Steuerabschnitt 13 dabei mit geeignetem Dichtmaterial versehen sein, beispielsweise mit einem Elastomerteil.

Ist das Piezoventil 1 beispielsweise als 3/2-Wegeventil ausgebildet, mündet noch ein weiterer, in der Zeichnung nicht dargestellter Fluidkanal in die Ventilkammer 6, der dann je nach Schaltstellung des Steuerabschnittes 13 mit dem einen oder anderen der beiden vorerwähnten Fluidkanäle 17, 17' in Verbindung steht. Denkbar wäre es aber beispielsweise auch, die Anordnung so zu treffen, daß der Steuerabschnitt 13 nur eine der Mündungen 16, 16' verschließen kann, während er in der anderen Schaltstellung zwischen den beiden Mündungen 16, 16' liegt und dadurch eine Verbindung zwischen den beiden Fluidkanälen 17, 17' gestattet. Bei dieser, ein 2/2-Wegeventil repräsentierenden Bauform ist selbstverständlich der nicht zu verschließenden Mündung nicht notwendigerweise ein Ventilsitz zugeordnet.

Die Schaltbewegung des Piezoventils 1, das im übrigen auch als Proportionalventil ausgeführt sein kann, wird in an sich bekannter Weise durch das Anlegen einer geeigneten Spannung an das Biegeelement 8 hervorgerufen. Die hierzu erforderlichen elektrischen Leiter sind ausgehend vom Halteabschnitt 12 nach außerhalb des Ventilgehäuses 2 geführt, in der Zeichnung der besseren Übersichtlichkeit wegen jedoch nicht dargestellt.

Zu seiner Befestigung ist der Halteabschnitt 12 beim Ausführungsbeispiel zwischen zwei insbesondere stiftartigen Befestigungselementen 18, 18' eingespannt, die den Halteabschnitt 12 in der Ebene der Schwenkbewegung des Steuerabschnittes 13 oder in einer hierzu parallelen Ebene von entgegengesetzten Seiten her fest beaufschlagen und am Ventilgehäuse 2 fest verankert sind. Beim Ausführungsbeispiel sind sie durch jeweils eine Gehäuseöffnung 22, 22' von außen her bis zur Anlage am Halteabschnitt 12 in die Befestigungskammer 7 eingeführt, wobei ihr innerhalb der zugeordneten Gehäuseöffnung 22, 22' liegender Abschnitt beispielsweise fest mit dem Ventilgehäuse 2 verklebt ist. Der hierzu verwendete Klebstoff ist bei 21 angedeutet.

Im übrigen ist die Befestigungskammer 7 vollständig mit einer Vergußmasse 23 ausgefüllt. Deren Hauptfunktion ist beim Ausführungsbeispiel eine Dichtfunktion, indem sie den Halteabschnitt 12 mit den daran befindlichen elektrischen Anschlüssen dicht umhüllt. Es kann sich um eine im ausgehärteten Zustand vorzugsweise nachgiebige und beispielsweise elastische Vergußmasse handeln.

Im Übergangsbereich zwischen der Ventilkammer 6 und der Befestigungskammer 7 befindet sich noch eine zusätzli-

che Einspannstelle 24 für das Biegeelement 8. Letzteres ist dabei an seinen beiden in Richtung der Schwenkbewegung 14 orientierten Seiten zwischen zwei sich gegenüberliegenden gehäusefesten Lagerpartien 25, 25' gehalten, die über eine nur sehr geringe axiale Länge des Biegeelementes 8 mit dem Biegeelement in Kontakt stehen und die beispielsweise abgerundet oder kantenartig ausgeführt sind. Die Anordnung ist so getroffen, daß das Biegeelement 8 bei unbefestigtem Halteabschnitt 12 zu einer wippenartigen Schwenkbewegung mit der Einspannstelle 24 als Schwenkzentrum in der Lage ist.

Die Einspannstelle 24 bildet gleichzeitig eine Begrenzungswand zur Abschottung der Vergußmasse 23 von der Ventilkammer 6.

Das Piezoventil 1 zeichnet sich im fertiggestellten Zustand gemäß Fig. 3 dadurch aus, daß sein Steuerabschnitt 13 gegen einen der Ventilsitze 15 mit einer Schließkraft  $F_S$  mechanisch vorgespannt ist und die zugeordnete Mündung 16 verschließt. Das Biegeelement 8 nimmt also auch im spannungslosen Zustand eine Schließstellung ein und kann als Ventil vom Typ "normalerweise geschlossen" bezeichnet werden. Um die Mündung 16 freizugeben, wird eine geeignete Spannung an das Biegeelement angelegt; wird die Spannung entfernt, schwenkt der Steuerabschnitt 13 wieder in die vorgespannte Grundstellung zurück. Eine derartige Ventilbauform läßt sich mit dem nachstehend beschriebenen Verfahren unter Verwendung der ebenfalls beschriebenen Vorrichtung besonders präzise und ohne Beschädigungsgefahr herstellen.

Zunächst werden auf beliebige geeignete Weise, beispielsweise durch Spritzgießen oder durch ein Mikrostrukturierungsverfahren, die beiden das Ventilgehäuse 2 bildenden Gehäuseteile 4, 4' gefertigt. Bei noch nicht zusammengefügteten Gehäuseteilen 4, 4' wird das Piezo-Biegeelement 8 in der gewünschten Position in das eine Gehäuseteil 4' eingelegt, wonach das zweite Gehäuseteil 4 angesetzt und fest mit dem ersten Gehäuseteil 4' verbunden, beispielsweise verklebt wird. Das Biegeelement 8 wird dabei zwischen den beiden vorsprungartig ausgebildeten Lagerpartien 25, 25' gehalten und geringfügig eingespannt, derart, daß das Biegeelement 8 durch Beaufschlagung seines Halteabschnittes 12 zu einer wippenähnlichen Schwenkbewegung um die definierte Einspannstelle 24 veranlaßt werden kann.

An die auf diese Weise vorbereitete Anordnung wird anschließend eine in ihrer Gesamtheit mit Bezugsziffer 26 bezeichnete Vorspannvorrichtung angesetzt, mit der erreicht werden kann, daß der Steuerabschnitt 13 bei fertiggestelltem Piezoventil mit der gewünschten Schließkraft  $F_S$  gegen den in der Zeichnung oben liegenden einen Ventilsitz 15 mechanisch vorgespannt ist. Selbstverständlich kann die Vorspannvorrichtung 26 auch stationär installiert sein, wobei nacheinander die herzustellenden Piezoventile 1 angesetzt werden. Zweckmäßigerweise zum Einsatz kommende Spannvorrichtungen zum Fixieren des Ventilgehäuses 2 während der Vorspannmaßnahmen sind in der Zeichnung nicht dargestellt.

Die Fig. 1 zeigt die Vorspannvorrichtung 26 im Zusammenwirken mit dem herzustellenden Piezoventil 1. Sie verfügt über eine Beaufschlagungseinrichtung 27 und eine Kraftsensoreinrichtung 28. Ferner ist eine elektronische Steuereinrichtung 29 vorhanden, die mit den beiden vorerwähnten Einrichtungen steuerungstechnisch und vorzugsweise regelungstechnisch verbunden ist.

Die Kraftsensoreinrichtung 28 enthält einen zweckmäßigerweise stiftartig ausgebildeten Kraftaufnehmer 32, der durch ein in dem den Ventilsitz 15 aufweisenden Gehäuseteil 4 ausgebildetes Loch 33 von außen her in die Ventilkammer 6 eingeführt wird, wobei eine an dem in die Ventilkam-

mer 6 hineinragenden Ende des Kraftaufnehmers 32 ausgebildete Kraftaufnahme- fläche 34 dem Steuerabschnitt 13 zugewandt ist. Beim Ausführungsbeispiel ist das Loch 33 unmittelbar von dem zum erwähnten Ventilsitz 15 führenden Fluidkanal 17 gebildet. Der Kraftaufnehmer 32 wird so weit eingeführt, bis die Kraftaufnahme- fläche 34 dem Ventilsitz 15 mit einem gewissen Abstand "a" in der Ventilkammer 6 vorgelagert ist.

Die Beaufschlagungseinrichtung 27 verfügt über ein beim Ausführungsbeispiel ebenfalls stiftartig ausgeführtes Beaufschlagungsglied 35, das durch die in dem zweiten Gehäuseteil 4 ausgebildete und in die Befestigungskammer 7 einmündende Gehäuseöffnung 22 hindurch von außen her in die Befestigungskammer 7 eingeführt wird, bis es mit einer an seinem in der Befestigungskammer 7 plazierten freien Ende vorgesehenen Beaufschlagungsfläche 36 am Halteabschnitt 12 des Biegeelementes 8 zur Anlage gelangt. Die Beaufschlagungsfläche 36 und die Kraftaufnahme- fläche 34 liegen der gleichen, beim Ausführungsbeispiel nach oben gerichteten Längsseite des Biegeelementes 8 gegenüber.

Gesteuert durch die Steuereinrichtung 29 wird nun der Halteabschnitt 12 durch die Beaufschlagungseinrichtung 27 mit einer Beaufschlagungskraft  $F_B$  beaufschlagt, was durch die Hebelwirkung in Verbindung mit der als Schwenkbereich dienenden Einspannstelle 24 ein Verschwenken des Steuerabschnittes 13 gemäß Pfeil 37 in Richtung zu dem der Kraftsensoreinrichtung 28 zugeordneten Ventilsitz 15 zur Folge hat. Allerdings gelangt der Steuerabschnitt 13 nicht zur Anlage mit dem Ventilsitz 15, sondern wird vorher durch den als Anschlagmittel wirkenden Kraftaufnehmer 32 gestoppt. Dies hat zur Folge daß der Steuerabschnitt 13 unter Einhaltung des durch die Einführtiefe des Kraftaufnehmers 32 vorgegebenen Abstandes "a" bezüglich des Ventilsitzes gegen die Kraftsensoreinrichtung 28 bzw. deren Kraftabnehmer 32 gedrückt wird.

Die im folgenden als Vorspannkraft  $F_V$  bezeichnete Kraft, mit der der Steuerabschnitt dabei gegen die Kraftsensoreinrichtung 28 vorgespannt wird, wird von letzterer ermittelt und an die Steuereinrichtung 29 als Ist-Wert weitergeleitet.

Die über die Beaufschlagungseinrichtung 27 in den Halteabschnitt 12 eingeleitete Beaufschlagungskraft  $F_B$  wird nun so eingestellt, daß die von der Kraftsensoreinrichtung 28 ermittelte Vorspannkraft  $F_V$  bei fertiggestelltem Ventil der gewünschten Schließkraft  $F_S$  entspricht.

Der Einstellvorgang der Beaufschlagungskraft  $F_B$  wird durch die Steuereinrichtung 29 gesteuert, in der die gewünschte Schließkraft  $F_S$  in variabler Weise nach Bedarf vorgegeben und abgespeichert werden kann. Aus einem Vergleich dieses Soll-Wertes mit dem durch die Kraftsensoreinrichtung 28 ermittelten Ist-Wert wird die benötigte Beaufschlagungskraft  $F_B$  der Beaufschlagungseinrichtung 27 ermittelt und letztere entsprechend angesteuert.

Durch diese Einstellmethode ist gewährleistet, daß toleranzbedingten Abweichungen im Verformungsverhalten der Biegeelemente unterschiedlicher Piezoventile ein und desselben Typs automatisch Rechnung getragen wird. Die Beaufschlagungskraft ist variabel vorgebbar und orientiert sich an der aktuell gemessenen Vorspannkraft. Auf diese Weise ist eine sehr präzise Serienfertigung von Piezoventilen möglich. Da der Ventilsitz 15 bei dem Einstellvorgang nicht vom Steuerabschnitt 13 des Biegeelementes 8 beaufschlagt wird, wird zudem einer Beschädigung vorgebeugt.

Nachdem die gewünschte Vorspannung eingestellt worden ist, wird das Biegeelement 8 in dem entsprechenden Beaufschlagungszustand gehalten, bis sein Halteabschnitt 12 gehäusefest unbeweglich festgelegt ist. Im Anschluß daran wird das Piezoventil 1 von der Vorspannvorrichtung 26 getrennt, wobei der Kraftaufnehmer 32 entfernt wird, so daß

sich der Steuerabschnitt 13 mit der gewünschten Schließkraft  $F_S$  an den Ventilsitz 15 anlegt.

Die starre Verbindung zum Ventilgehäuse 2 des Halteabschnittes 12 wird beim Ausführungsbeispiel durch die beiden schon erwähnten Befestigungselemente 18, 18' erzielt, die man in der aus Fig. 2 ersichtlichen Weise bei noch unter dem Einfluß der Vorspannvorrichtung 26 stehenden Biegeelement 8 montiert. Sie ragen durch die in den beiden Gehäuseteilen 4, 4' ausgebildeten Gehäuseöffnungen 22, 22' hindurch, wobei sie am Halteabschnitt 12 anliegen und anschließend fest mit dem Ventilgehäuse 2 verbunden werden. Außer der beim Ausführungsbeispiel vorgesehenen Klebeverbindung wären hier auch andere Verbindungen denkbar, beispielsweise auch Schraubverbindungen.

Ist der Halteabschnitt 12 derart festgelegt, liegt eine schwenk unbewegliche Fixierung des sich zwischen der Einspannstelle 24 und dem rückseitigen Ende des Biegeelementes 8 erstreckenden Halteabschnittes 12 vor. Im späteren Betrieb des Piezoventils 1 wird somit der Steuerabschnitt 13 durch Anlegen einer Spannung zu der erwähnten Schwenkbewegung 14 mit dem Verhalten eines Biegebalkens veranlaßt.

Ein Vorteil des Ausführungsbeispiels liegt darin, daß man das zur Übertragung der Beaufschlagungskraft  $F_B$  verwendete Beaufschlagungsglied 35 als bezüglich der Vorspannvorrichtung 26 verlorenes Teil ausführt und unmittelbar als Befestigungselement 18 verwendet. Hierzu braucht das Beaufschlagungsglied 35 nur in der bei eingestellter Vorspannkraft  $F_V$  befindlichen Position am Ventilgehäuse 2 befestigt werden. Jetzt ist nur noch von der entgegengesetzten Seite her das weitere Befestigungselement 18' bis zur Anlage am Halteabschnitt 12 einzuführen und anschließend gehäusefest zu fixieren, um die gewünschte feste Einspannung des Halteabschnittes 12 zu erhalten.

Schließlich wird die Befestigungskammer 7 noch mit einer Vergußmasse 23 aufgefüllt, die man in fließfähigem oder pastösem Zustand insbesondere durch Eingießen oder Einschäumen einbringt. Diese Vergußmasse 23 verfügt beim Ausführungsbeispiel auch nach dem Aushärten über nachgiebige und vorzugsweise gummielastische Eigenschaften und hat zumindest eine Abdichtwirkung, indem sie den Halteabschnitt 12 einschließlich der daran vorhandenen elektrischen Kontaktierungen dicht umschließt. Das Eindringen von Feuchtigkeit oder von sonstigen Verunreinigungen in den empfindlichen Bereich der Einleitung der Betriebsspannung wird auf diese Weise verhindert.

Ist zumindest eine der Gehäuseöffnungen 22, 22' mit ausreichend größerem Durchmesser als das zugeordnete Befestigungselement 18, 18' ausgeführt, kann die Vergußmasse 23 durch den vorhandenen Ringspalt eingeführt werden. Denkbar wäre aber auch eine separate Eingießöffnung.

Es ist auch eine Bauform möglich, bei der die endgültige gehäusefeste Fixierung des Halteabschnittes 12 allein durch die eingefüllte Vergußmasse 23 bewirkt wird. In diesem Falle wird eine im ausgehärteten Zustand hart erstarrende Vergußmasse verwendet, die in der Lage ist, die notwendigen Haltekräfte zwischen dem Halteabschnitt 12 und dem Ventilgehäuse 2 zu übertragen und gleichzeitig die gewünschte Abdichtfunktion auszuüben. Auch in diesem Falle bietet es sich allerdings an, das beim Vorspannen unmittelbar auf den Halteabschnitt 12 einwirkende Beaufschlagungsglied 35 auch nach der endgültigen Befestigung des Halteabschnittes 12 an Ort und Stelle zu belassen, indem man es mit der Vergußmasse 23 umgießt.

Gegenüber einer Lösung, bei der die Beaufschlagungskraft im Innern der Ventilkammer 6 in den dortigen Steuerabschnitt 13 eingeleitet wird, hat die beispielsgemäße Kraft-einleitung den Vorteil, daß der Steuerabschnitt 13 keinen un-

kontrollierbaren Durchbiegungen ausgesetzt wird, die sich nach dem Entfernen der Vorspannvorrichtung 26 dahingehend auswirken könnten, daß die gewünschte Schließkraft  $F_S$  nicht erreicht wird.

Da man die Vorspannkraft  $F_V$  in einem Zustand ermittelt, in dem der Steuerabschnitt 13 mit geringem Abstand "a" zum zugeordneten Ventilsitz 15 angeordnet ist, ist die hier gemessene Vorspannkraft in der Regel eine geringfügig andere als die daraus nach der Wegnahme der Vorspannvorrichtung 26 resultierende Schließkraft  $F_S$ , mit der der Steuerabschnitt 13 mechanisch gegen den Ventilsitz 15 vorgespannt ist. Dies kann jedoch bei Bedarf durch entsprechende Auslegung der Steuereinrichtung 29 kompensiert werden.

Weitere Kompensationsmaßnahmen sind beim Ausführungsbeispiel nicht erforderlich, da hier die Vorspannkraft  $F_V$  in demjenigen Bereich des Biegeelementes ermittelt wird, der der vom Ventilsitz 15 umgrenzten Mündung 16 unmittelbar gegenüberliegt. Man ermittelt also die Vorspannkraft unmittelbar im Bereich der später mit dem Ventilsitz 15 zusammenwirkenden Schließpartie des Biegeelementes 8. Dabei ist von Vorteil, daß als Loch 33 zum Hindurchführen des Kraftaufnehmers 32 unmittelbar der zu der Mündung 16 führende Fluidkanal 17 des Ventilgehäuses 2 herangezogen werden kann.

Vor allem in Fällen, bei denen die vom Ventilsitz 15 umgrenzte Mündung 16 bzw. der zugeordnete Fluidkanal 17 im Durchmesser zu gering ist, um das Hindurchführen eines Kraftaufnehmers zu ermöglichen, bietet sich eine alternative Ausgestaltung an, die in Fig. 1 bei 42 strichpunktiert angedeutet ist. Hier wird die Vorspannkraft  $F_V$  in demjenigen Bereich 43 des Biegeelementes 8 ermittelt, der einem unmittelbar beabstandet neben dem Ventilsitz 15 liegenden Gehäusereich gegenüberliegt. Die Kraftsensoreinrichtung 28 wird in diesem Falle durch ein das Ventilgehäuse 2 neben dem Ventilsitz 15 durchsetzendes Loch 33' hindurch in die Ventilkammer 6 eingeführt, wobei man dieses Loch 33' nach dem späteren Entfernen der Kraftsensoreinrichtung 28 zweckmäßigerweise fluiddicht verschließt. Die Tatsache, daß durch die bezüglich dem Ventilsitz 15 seitlich versetzte Erfassung der Vorspannkraft eine gewisse Abweichung bezüglich der später auftretenden Schließkraft  $F_S$  auftritt, kann wiederum in der Steuereinrichtung 29 durch entsprechende Kompensationsmaßnahmen berücksichtigt werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Piezoventils (1), das ein Ventilgehäuse (2) aufweist, in dem sich ein Piezo-Biegeelement (8) erstreckt, das mit einem Halteabschnitt (12) an einen Endbereich gehäusefest festgelegt ist und dessen anderer Endbereich als beweglicher Steuerabschnitt (13) ausgeführt ist, der mindestens einem Ventilsitz (15) gegenüberliegt, gegen den er mechanisch mit einer Schließkraft vorgespannt ist, dadurch gekennzeichnet, daß man das Biegeelement (8) nach dem Plazieren im Ventilgehäuse (2) bei noch beweglichem Halteabschnitt (12) derart mit einer Beaufschlagungseinrichtung (27) beaufschlagt, daß der Steuerabschnitt (13) in Richtung zum Ventilsitz (15) und unter Einhaltung eines Abstandes ("a") zum Ventilsitz (15) gegen eine im Bereich des Ventilsitzes (15) angeordnete Kraftsensoreinrichtung (28) gedrückt wird, wobei man die über die Beaufschlagungseinrichtung (27) eingeleitete Beaufschlagungskraft so einstellt, daß die von der Kraftsensoreinrichtung (28) ermittelte Vorspannkraft bei fertiggestelltem Ventil der gewünschten Schließkraft entspricht, wonach man das Biegeelement (8) in diesem Beaufschlagungszustand hält, bis es an

- seinem Halteabschnitt (12) gehäusefest festgelegt ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man die Vorspannkraft in dem Bereich des Biegeelementes (8) ermittelt, der der vom Ventilsitz (15) umgrenzten Mündung (16) unmittelbar gegenüberliegt.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß man die Kraftsensoreinrichtung (28) durch die vom Ventilsitz (15) umgrenzte Mündung (16) hindurch in die den Steuerabschnitt (13) enthaltende Ventilkammer (6) einführt.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man die Vorspannkraft in dem Bereich (43) des Biegeelementes (8) ermittelt, der einem neben dem Ventilsitz (15) liegenden Gehäusebereich gegenüberliegt.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß man die Kraftsensoreinrichtung (28) durch ein das Ventilgehäuse (2) neben dem Ventilsitz (15) durchsetzendes Loch (32') hindurch in die den Steuerabschnitt (13) enthaltende Ventilkammer (6) einführt, wobei man das Loch (32') nach dem Entfernen der Kraftsensoreinrichtung (28) zweckmäßigerweise dicht verschließt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß man zur Ermittlung der Vorspannkraft einen stiftförmigen Kraftaufnehmer (32) der Kraftsensoreinrichtung (28) verwendet.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die ermittelte Vorspannkraft als Ist-Wert einer Steuereinrichtung (29) zugeführt wird, in der die gewünschte Schließkraft als Soll-Wert vorgegeben ist und die anhand eines Vergleiches von Soll-Wert und Ist-Wert die von der Beaufschlagungseinrichtung (27) aufzubringende Beaufschlagungskraft vorgibt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß man die Beaufschlagungskraft dem Biegeelement (8) mit einem stiftartigen Beaufschlagungsglied (35) der Beaufschlagungseinrichtung (27) auferlegt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß man die Beaufschlagungskraft in einem Bereich des Biegeelementes einleitet, der sich auf der dem Steuerabschnitt (13) entgegengesetzten Seite einer Einspannstelle (24) befindet, an der das Biegeelement (8) vor der endgültigen Befestigung seines Halteabschnittes (12) wippenähnlich verschwenkbar fixiert ist.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß man die Beaufschlagungskraft in den noch beweglichen Halteabschnitt (12) des Biegeelementes (8) einleitet.
11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß man das unmittelbar auf das Biegeelement (8) einwirkende Beaufschlagungsglied (35) der Beaufschlagungseinrichtung (27) auch nach der endgültigen Befestigung des Halteabschnittes (12) an Ort und Stelle beläßt.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß man den Halteabschnitt (12) zu seiner gehäuseseitigen Befestigung zwischen von entgegengesetzten Seiten her wirksamen, gehäuseseitig verankerten Befestigungselementen (18, 18') einspannt.
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß man ein Beaufschlagungsglied (35) der Beaufschlagungseinrichtung (27) als Befestigungsele-

ment (18) verwendet.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß man den Halteabschnitt (12) des Biegeelementes (8) in eine Vergußmasse (23) einbettet, die man in gießfähigem oder pastösem Zustand in das Ventilgehäuse (2) einbringt.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß man eine erstarrende Vergußmasse (23) verwendet, die zur gehäusefesten Befestigung des Halteabschnittes (12) dient.

16. Verfahren nach Anspruch 14, gekennzeichnet durch Verwendung einer bei fertiggestelltem Ventil über nachgiebige Eigenschaften verfügende Vergußmasse (23) mit Dichteigenschaften.

17. Vorrichtung zur Herstellung eines Piezoventils (1), das ein Ventilgehäuse (2) aufweist, in dem sich ein Piezo-Biegeelement (8) erstreckt, das mit einem Halteabschnitt (12) am einen Endbereich gehäusefest festgelegt ist und dessen anderer Endbereich als beweglicher Steuerabschnitt (13) ausgeführt ist, der mindestens einem Ventilsitz (15) gegenüberliegt, gegen den er mechanisch mit einer Schließkraft vorgespannt ist, gekennzeichnet durch eine Beaufschlagungseinrichtung (27) zur Beaufschlagung des mit noch beweglichem Halteabschnitt (12) im Ventilgehäuse (2) platzierten Biegeelementes (8) mit einer Beaufschlagungskraft im Sinne einer Verlagerung des Steuerabschnittes (13) in Richtung zu einem Ventilsitz (15), durch eine Kraftsensoreinrichtung (28), die eine Kraftaufnahmefläche (34) aufweist, die derart im Ventilgehäuse (2) im Bereich des Ventilsitzes (15) platzierbar ist, daß das durch die Beaufschlagungseinrichtung (27) beaufschlagte Biegeelement (8) unter Wahrung eines Abstandes ("a") zum Ventilsitz (15) gegen die Kraftaufnahmefläche (34) gedrückt wird, und durch eine Steuereinrichtung (29), in der die gewünschte Schließkraft als Soll-Wert vorgebar ist und die der Beaufschlagungseinrichtung (27), anhand eines Vergleiches zwischen dem Soll-Wert und der von der Kraftsensoreinrichtung (28) ermittelten Vorspannkraft als Ist-Wert, die auszuübende Beaufschlagungskraft vorgibt.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

